

УДК 699.86

В. В. РУДАКОВ, д-р техн. наук, проф.

С. С. ЛОНСЬКИЙ, магістр

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», г. Харків

**ЭФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ БУДОВЕЛЬ СТАРОЙ ЗАБУДОВЫ**

*Рассмотрена проблема сбережения тепла жилых помещений старой застройки постоянного и периодического отопления за счет способов утепления помещений: изнутри, снаружи, с двух сторон. Сделаны обоснованные рекомендации касательно утепления каждым из способов.*

*Розглянуто проблему теплозбереження житлових приміщень старої забудови постійного та періодичного опалення за рахунок способів утеплення приміщень: зсередини, ззовні, з обох боків. Зроблено обґрунтовані рекомендації щодо утеплення кожним із способів.*

**Вступ**

У зв'язку з існуючою тенденцією росту цін на енергоресурси і наявністю великої кількості старого, переважно не енергоефективного, житла виникає нагальна необхідність в утепленні приміщень. Постає питання «як це правильно зробити?». Коли варто утеплювати приміщення зсередини, ззовні та з обох боків? У цій статті порівняно ці види утеплення при однаковому тепловому опорі споруди.

**Основна частина**

**Метою** даної статті є визначення порядку чергування огорожувальних шарів стіни (частина стіни, що несе, та теплоізолююча частина), що забезпечить найменші темп та швидкість її охолодження, з метою вибору оптимальних варіантів енергозберігаючих рішень по утепленню житлових приміщень старої забудови постійного та періодичного опалення.

При досягненні поставленої мети було вирішено наступні задачі:

1. Визначено розподіл температури в огорожувальній конструкції (ОК) по шарах в залежності від порядку їх розміщення (табл. 1).

2. Визначено кількість енергії потрібної для нагріву шарів від температури повітря оточуючого середовища до робочої температури (табл. 2).

3. Визначено термін та темп охолодження ОК (рис. 2).

При розрахунках враховуємо наступні припущення:

1) вважаємо, що нема швів між плитами утеплювача, відсутні двері і вікна;

2) утеплювач ззовні та зсередини один і той же;

3) розглянуто тільки 1 м<sup>2</sup> стіни, а не ціле приміщення;

4) вважаємо шар із штукатурки і зклеювальної суміші однорідним і з теплотехнічними характеристиками цегли;

5) не враховано теплоізолюючий внесок шару пароізоляції.

В якості розрахункової моделі ОК приймемо три варіанти її структури, які зображено на рис. 1.

Для розрахунків взято цегляну стіну, товщиною в одну цеглину ( $b=25$  см), із штукатуркою ( $a=1,5$  см) та утеплювачем (пінополістирол  $d=10$  см). Температури на поверхні стіни:  $+20$  – зсередини,  $-20$  – ззовні.

Розглянемо поверхню стіни площею 1 м<sup>2</sup>. Через її переріз з кімнати назовні виходить тепловий потік  $q$  [1, 2, 3], який знайдемо за допомогою формул:

$$q = (t_2 - t_1) / R, \quad (1)$$

$$R = 1 / \alpha_{\text{зов.}} + (b + 3a) / \lambda_c + d / \lambda_i + 1 / \alpha_{\text{вн.}}, \quad (2)$$

$$q = (t_2 - t_1) / (1 / \alpha_{\text{зов.}} + (b + 3a) / \lambda_c + d / \lambda_i + 1 / \alpha_{\text{вн.}}),$$

де  $t_1$  – температура оточуючого середовища;  $t_2$  – температура повітря у приміщенні;  
 $q$  – кількість теплоти, що виходить через ОК;  
 $R$  – тепловий опір ОК,  
 $\alpha_{\text{зов.}} = 1,163 \cdot (3 + 2,5 \cdot v^{0,8})$  – коефіцієнт тепловіддачі ОК у навколишнє середовище;  
 $v$  – швидкість вітру, що овиває будівлю;  
 $\alpha_{\text{вн.}}$  – коефіцієнт тепловіддачі ОК у кімнату;  
 $\lambda_c$  – коефіцієнт теплопровідності стіни з цегли;  
 $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції.

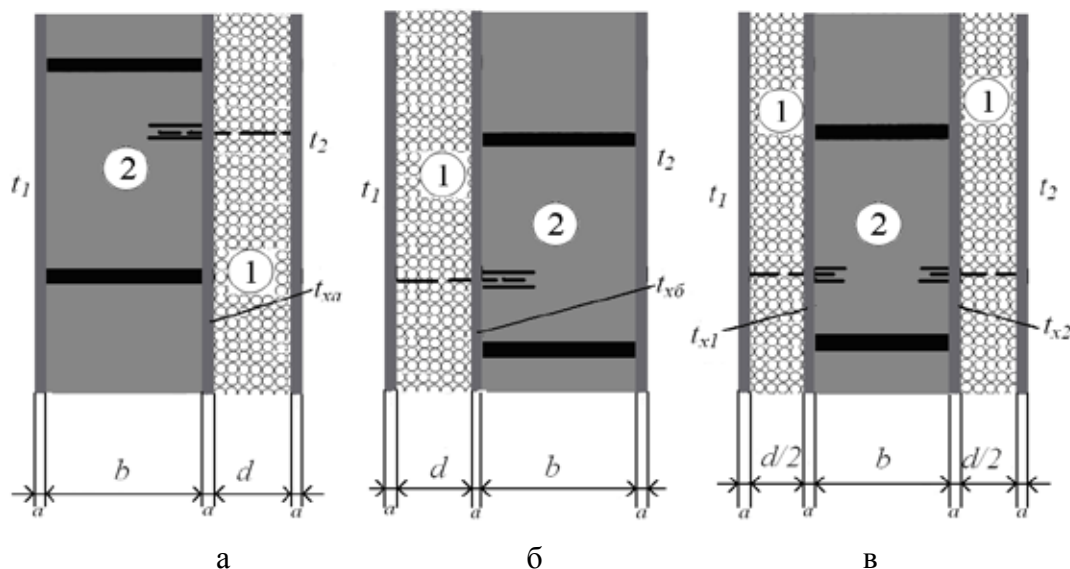


Рис. 1. Моделі огорджувальних конструкцій:

а) тепла ізоляція зсередини; б) тепла ізоляція ззовні; в) комбінована модель (два шари теплової ізоляції: ззовні та зсередини)

За допомогою (2) ми знайдемо тепловий потік  $q$ . Для кожної з моделей ОК отримаємо подібну формулу, за допомогою яких знайдемо  $t_{xa}$ ,  $t_{xb}$ ,  $t_{xl}$ ,  $t_{x2}$ . Наприклад для моделі а):

$$q = (t_2 - t_{xa}) / (2a/\lambda_c + d/\lambda_i); \quad t_{xa} = t_2 - q \cdot (2a/\lambda_c + d/\lambda_i).$$

Таблиця 1

Розподіл температури по шарах у початковий момент часу

$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_{xa}, ^\circ\text{C}$	$t_{xb}, ^\circ\text{C}$	$t_{x2}, ^\circ\text{C}$	$t_{xl}, ^\circ\text{C}$
-20	20	-11,81	15	3,83	-0,9

Шари ОК нагріватимуться від температури навколишньої середи до середньої температури відповідного шару.

Рівняння кількості теплоти має вигляд:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = c \cdot \rho \cdot l \cdot S \cdot \Delta t.$$

Тоді, якщо знаходити кількість енергії, необхідної для нагріву одного шару з поверхнею ОК  $1 \text{ м}^2$ , то отримаємо наступне:

$$q_i = Q/s = c \cdot \rho \cdot l \cdot s \cdot \Delta t / s = c \cdot \rho \cdot l \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де  $c$  – теплоємність;  
 $m$  – маса;

$\Delta t = (t_{сер.} - t_{зов.})$  – різниця температур стіни (до і після нагріву);  $t_{сер.}$  – середня температура шару ОК;  $t_{зов.}$  – температура на зовнішній поверхні шару ОК;

$\rho$  – густина тіла (матеріалу);

$l$  – довжина тіла (товщина стіни);

$S$  – площа бокової поверхні (основи) тіла.

Теплоту, необхідну для нагріву ОК, знайдемо склавши теплоти витрачені на нагрів цегляної стіни та шару утеплювача (табл. 2):

Таблиця 2

Теплота потрібна для нагріву стін

Кількість теплоти	Модель «а»	Модель «б»	Модель «в»
$q_{\Sigma}, \text{МДж/м}^2$	2,03	17,5	10,2

$$q_{\Sigma} = q_c + q_i.$$

Для визначення впливу утеплювача на термоопір, порівняли теплові потоки через стіни, утеплену та ні (табл. 3).

Таблиця 3

Тепловий потік через огорожувальну конструкцію

Структура стіни	Питомий тепловий потік
25 см цегли	100 Вт/м <sup>2</sup>
25 см цегли + 10 см утеплювача	12,5 Вт/м <sup>2</sup>

Для вирішення задачі по остиганню стіни підійшли до неї з точки зору акумулювання енергії, що дозволило значно спростити розрахунки і зробило можливим будь-кому вирішити поставлені задачі для свого будинку.

Шари теплоізоляції та цегли виконують роль «теплового акумулятора» (ТА) (рис. 2). У процесі опалення приміщення вони запасують тепло (акумулятор заряджається), а після вимкнення опалення ОК починає остигати, тобто йде процес розряду акумулятора. Тепловий потік спрямований з площини, що між двома ОК, у напрямку навколишнього середовища.

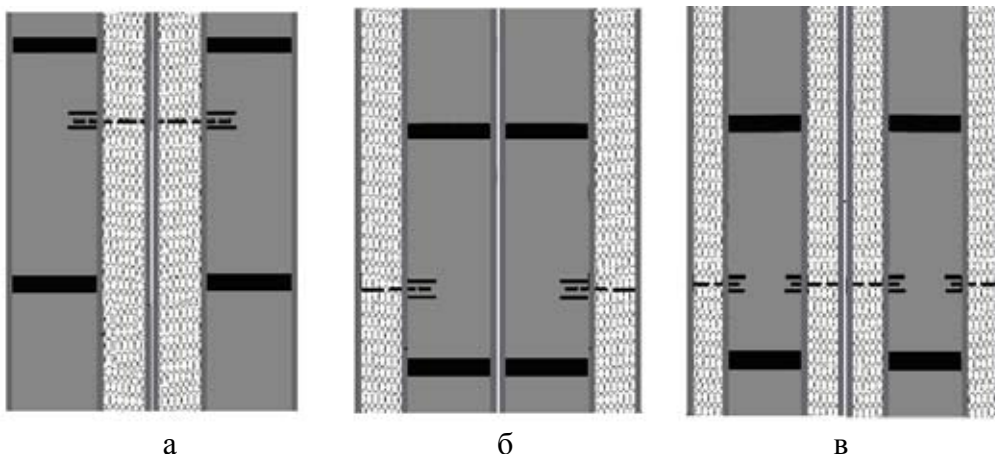


Рис. 2. Розрахункові моделі «акумуляторів» тепла:

- а) теплова ізоляція зсередини ОК; б) теплова ізоляція ззовні ОК; в) комбінована модель (два шари теплової ізоляції: зовні та зсередини ОК)

Тепловий опір плоскої стіни визначають за формулою (4) [5].

$$R = 1/\alpha_{зов} + b/\lambda_c + d/\lambda_i + 1/\alpha_{вн}, \quad (4)$$

З іншого боку виразимо тепловий опір ОК через термін розряду акумулятора.

Нехай температура теплоносія ТА дорівнює  $t_a$ , а температура зовні –  $t_o$ . Теплова потужність, що передається до навколишнього середовища через теплоізоляцію площею  $1 \text{ м}^2$  за законом Фур'є:

$$P_m = \frac{t - t_o}{R_M},$$

де  $R_M$  – тепловий опір теплоізоляції ТА;  $t$  – температура всередині ТА у момент часу  $\tau (t > t_o)$ .

Потужність (теплова), що віддає ТА з поверхні  $1 \text{ м}^2$  визначається:

$$P_m = \frac{1}{S} cm \frac{dt}{d\tau},$$

де  $c$  – теплоємність теплоносія;

$m$  – маса теплоносія;

$S$  – площа поверхні ТАМ.

Отримаємо рівняння теплового балансу, у якому енергія, втрачена ТА, дорівнює енергії, що передається до зовнішньої середовища через теплоізоляцію.

$$\frac{1}{S} cm \frac{dt}{d\tau} = - \frac{t - t_o}{R_M}, \quad (5)$$

$$\frac{dt}{t - t_o} = - \frac{S d\tau}{cm R},$$

$$\ln(t - t_o) = - \frac{S\tau}{cm R} + C, \text{ де } C - \text{постійна інтегрування,}$$

$$t - t_o = C_1 \cdot e^{-\frac{\tau S}{cm R}}, \text{ де } C_1 = e^C.$$

При  $\tau = 0, t = t_a$ , звідки  $C_1 = t_a - t_o$ . Остаточно отримаємо:

$$\frac{t - t_o}{t_a - t_o} = e^{-\frac{\tau S}{cm R}}.$$

Нехай  $\beta$  – доля втрат тепла зарядженого ТАМ протягом часу  $\tau_1$ . Тоді:

$$1 - \beta = \frac{t - t_o}{t_a - t_o}, \text{ або } \beta = \frac{t_a - t}{t_a - t_o} = \frac{|t_{21} - t_{22}|}{t_{\text{сер.}} - t_1}, \quad (6)$$

де  $t_{21}$  – температура внутрішньої поверхні стіни до початку охолодження;  $t_{22}$  – температура внутрішньої поверхні стіни після охолодження, тобто  $t_{22} = (t_{21} - 1)^\circ\text{C}$  оскільки крок зменшення температури було обрано  $1^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{сер.}}$  – середня температура шару, що акумулює теплоту;  $t_1$  – температура оточуючого середовища.

Час остигання ОК позначимо як  $\tau_p$ , це буде термін розряду ТАМ. Визначимо тепловий опір з урахуванням (6):

$$e^{-\frac{\tau_p S}{mc R}} = 1 - \beta; \quad R = - \frac{S \times \tau_p}{m \times c \times \ln(1 - \beta)}, \quad (7)$$

де  $\beta$  – частина енергії, що втрачається за час  $\tau_p$ ;

$m$  – маса шару, що остигає;

$c$  – теплоємність шару, що остигає.

З формули (7) виразимо  $\tau_p$ , а  $R$  знайдемо за формулою (4):

$$\tau_p = -R \cdot \ln(1-\beta) \cdot \frac{c \times \rho \times l \times S}{S} = -R \cdot \ln(1-\beta) \cdot c \cdot \rho \cdot l,$$

де  $R$  – тепловий опір ізоляції, а  $\beta$  знаходиться за формулою (6).

Виходячи з вище написаного, можна скласти формули за допомогою яких буде знайдено термін охолодження для розрахункових моделей ОК.

За результатами розрахунків було побудовано порівняльний графік (рис. 3).

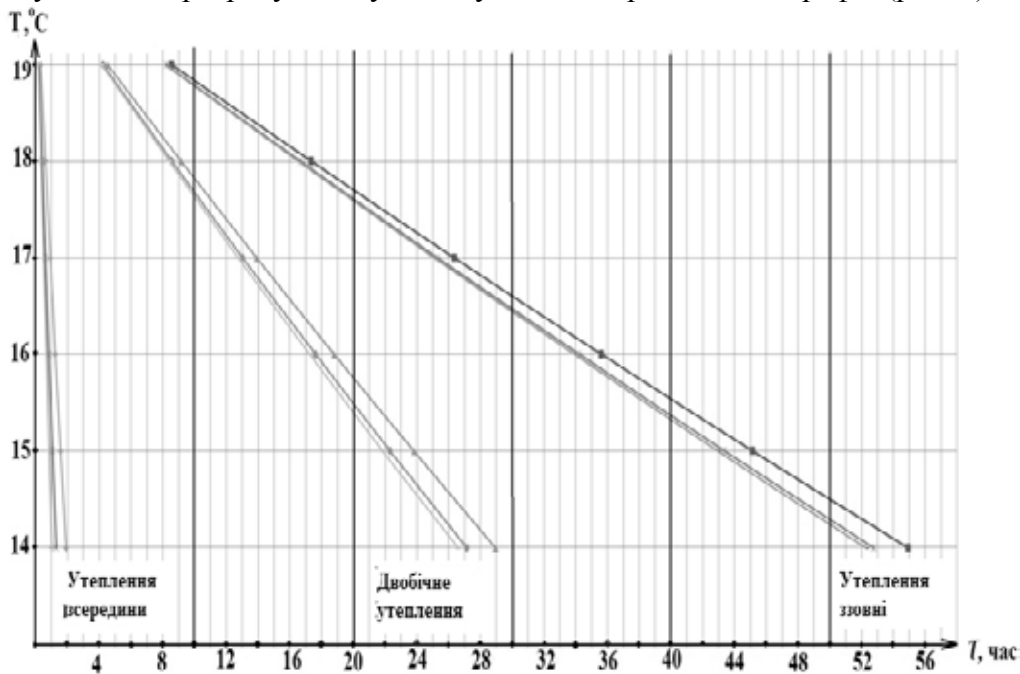


Рис. 3. Час остигання ОК за різної швидкості вітру (1, 5, 10 м/с)

### Висновки

Опираючись на отримані данні, було складено рекомендації щодо утеплення будівель:

– модель «А» придатна для приміщень, у яких перебувають не постійно, які треба швидко нагріти та у яких нема необхідності довго підтримувати високі температури (не жилі приміщення або ті, що нечасто відвідуються);

– модель «Б» (найчастіше використовується) придатна для приміщень постійного проживання, у яких необхідно постійно підтримувати певну температуру. Вона дозволяє організувати періодичне опалення, оскільки має значний термін охолодження, що сприятиме додатковому заощадженню енергоресурсів (добу опалюємо – добу не опалюємо);

– модель «В» (дуже рідко використовується) придатна для будівель періодичного використання. Вона теж дозволяє організувати режим періодичного опалення.

Згідно розрахунків, при витраті 187,5 грн/м<sup>2</sup> улаштування теплоізоляції, конструкція повністю окупиться не пізніше ніж за дев'ять років (конструкція «в» за 18) (економія енергоносія становить 22 м<sup>3</sup> газу на 1 м<sup>2</sup> поверхні стіни за опалювальний сезон). Враховуючи, що термін служби такої конструкції 15 – 30 років [4], можна впевнено сказати, що вона виправдовує вкладені в неї кошти. Окрім того, правильно утеплені приміщення сприймаються людиною як більш комфортні для її організму.

### Список літератури

1. Богословський В. Н., Сканава А. Н.. Отопление: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
2. Умнякова Н. П. Как сделать дом теплым: справочное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1996. – 368 с.
3. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления,

вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов. – Изд. 2-е, и доп. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

4. Системные решения утепления фасадов. Справочник фирмы «Шенкель Баутехник (Украина)». – Вишгород: Шенкель Баутехник (Украина), 2008. – 309 с.

5. Маляренко В. А. Основы теплофізики будівел та енергозбереження: Підручник – Харків: «Видавництво САГА», 2006. – 486 с.

## EFFICIENCY HEAT INSULATION OLD BUILDINGS

---

V. V. RUDAKOV, Dr. Tech. Sci., Pf.  
S. S. LONSKIJ, Master

*The paper deals with the problem of heat saving in old buildings with regular and periodical heating. Heat saving is carried out by warming the room: inside, outside, double-side. Finally, article proposes reasonable recommendations for warming buildings in different ways.*

*Поступила в редакцию 15.10 2010 г.*